講 演〈1〉

生化学から見たスポーツと栄養

女子栄養大学大学院教授　香　川　靖　雄

皆さん，こんにちは。

私は先週までヨーロッパに行っておりました。そして女子栄養大学としては初めてヨーロッパの方々と「日欧科学協力セミナー（日本学術振興会)」という会議を開きました。そのときに日本側は私が代表でございましたが，先方の代表が，きょうのお話の活性酸素と関係の深い，ミトコンドリアでは有名なパパという先生です。そのときの市長さんは栄養学者で先頭に立ってワインの工場を案内して下さいました。活性酸素の害を赤ワインの赤い色のポリフェノールが防ぎます。この話が日本で大変有名になって，いまは赤ワインの値段は去年の2倍になりました。生産地のイタリアは，生産しても輸出に追いつかないという景気のいいお話でした。市長さんはもちろん，そういうお話をよく知っていました。消化器内科の先生だったそうですが，栄養学者を市長に立てるというイタリアの英断に私は大変感心しました。というのは，日本でもそうですが，自治体の赤字の大部分が医療に関する赤字です。健康を守る姿勢が，大変大事だということであります。

そこで最初に晩餐会がございまして，最初にパパ教授がテーブルスピーチをする。その次の私は，イタリアの人は陽気だからみんながどっと湧くような話をしなくてはいけない。そこでペルージャの中田の話をしました。そうしたら，向こうは教授といえどもスポーツは熱狂的に好きなので喜んでくれました。

そこできょうのお話でございますが，最初のスライドをお目にかけましょう（表1)。これは適正な運動量を厚生省で定めたものです。お昼が終わって眠くなる時間でございますので，まず一番肝心なところを話して，それから，終わりにもう一度繰り返します。昔は運動でも酸素でも多ければ多いほどいいと思っておりましたが，よく調べますと，かえって，過剰な運動はよくない。先ほどお話しに出た活性酸素には害があります。所要量にしても運動量にしても個人差が大きいのですけれども，表の値は大体コンセンサスを得た値です。目標の運動強度を心拍数で示してあります。成人が呼吸できる最大酸素消費量は1分間に大体3リットル近いのですが，それの50％を使う運動が有酸素運動としても大変良いのです。しかし，それを一々運動中に機械で計るわけにいかないので，心拍数でおよその目安としているのです。表1では心拍数が普段70の方が20代ですと130とな

表 1．健康づくりのための運動所要量

年　齢　階　級	20代	30代	40代	50代	60代
1週間の合計運動時間	180分	170分	160分	150分	140分
（目標心拍数　拍/分）	(130)	(125)	(120)	(115)	(110)

（注）　目標心拍数は，安静時心拍数が概ね70拍/分である平均的な人が50％に相当する強度の運動をした場合の心拍数を示すものである。

① 運動の持続時間　　少なくとも10分以上継続
② 1日の合計時間　　1日の合計時間としては20分以上
③ 運 動 頻 度　　毎日行う

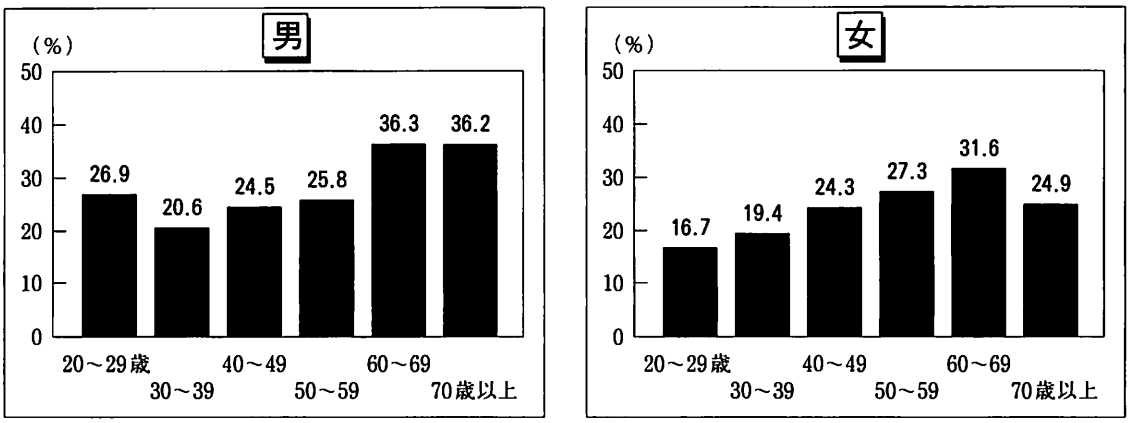


図 1．運動習慣者の割合（性・年齢階級別）

るような運動。けれども，私どものように60代になりますと心拍数110となる運動が良い。あまり厳しい運動はだめです。それから，1週間に合計して，若い方ですと180分。それから，60代ですと140分ぐらいがよい。現在は，この方針を勧めています。それから，少なくとも1回に10分以上継続しないといけません。それから，1日の継続時間としては20分以上。これを毎日行う。10分ぐらいまで運動しますと，最初に持っていました糖分が使われて，脂肪が使われ始めるという目安があります。そういうことで，60歳では1週は7日ですから，140分／週は1日20分ぐらいということになるわけです。このごろはスポーツクラブに行くと，自転車に乗っても，耳たぶにメーターを挟んで，心拍数等を計って，運動能力をその場で印刷してくれます。

厚生省の「日本人の栄養」には，この他に軽労作の人に1日200キロカロリーの運動が定められています。このごろは自動車や，農業でいえば耕耘機とか田植機ができたので，みんなの運動量が減りました。そこで1日に200キロカロリーを消費するような運動を勧めるのです。それは，散歩だけをするというと，男は38分，女は48分と，かなりの時間がかかります。けれども，急いで歩く。朝の通勤時間に団地から駅まで歩いていくということをしますと，大体こんなものです。それから，毎朝ラジオ体操がNHKでありますけれども，27分やると大体100キロカロリー。それからジョギングになると，やはり階段の上下と同じぐらい，16分とか20分。それから，縄跳びですと12分。それからあと，ゲートボールとか，これはずいぶん時間がかかります。それから，サイクリングもそんなには筋肉を使いません，30分ぐらいです。こういう値が大体頭に入っておりますと運動の目安になります。私は水泳をしますけれども，栄養大学でもジョギングをやっておられる方もいるし，中にはハーフマラソンで優勝した学生さんもいます。

しかし，図1に示すように最近の国民栄養調査（平成9年）で，男性の場合，お年寄りは36％ぐらい運動しているのです。糖尿病は40代で増加し，30代の後半から糖尿病の素地ができてくる。そういう人たち，一番運動の必要な人たちが運動の量が足りないのです，5分の1ぐらいしか運動していません（図1）。女性の場合もそうです。ダイエットは若い女性は大変進んでいて，痩せている人は20代で約半数にもなるのですけれども，肝心の運動のほうは大変少ない。20歳代で僅かに16.7％しかいません。このことが，日本人の将来にわたる健康にとっていろいろ問題を起こすだろうと思われます。というのは，いま50代，60代の人たちが育った子どものころはまだ交通機関も不便であり，若いころはずいぶん運動したものです。それに比べていまは大変減っている。急速に生活習慣病が増加をして，1,370万人もの糖尿病の予備軍がいるということで，厚生省自身も驚いております。その意味でも，適度のスポーツは大変体にいいと私どもは考えるのであります。

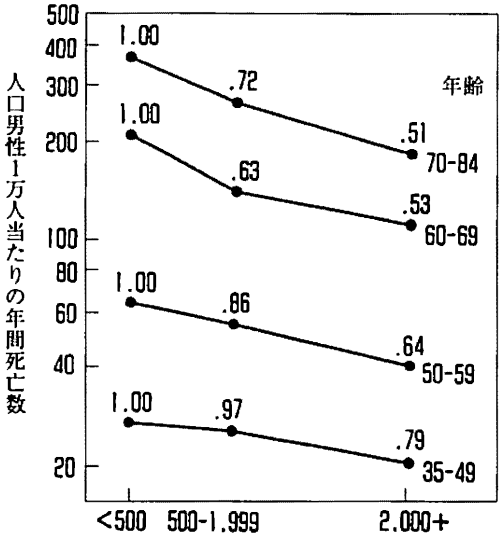


図 2．1962年から1978年にわたるハーバード大学卒業生16,936人の年齢別死亡率と身体活動量の関係（Paffenbargar ら、1986）

この図2に示すハーバード大学の卒業生というのは知的なエリートでありまして，ほとんどが軽労作の事務系の職場に就くわけです。その人たちの1週間当たり身体活動量を横軸に示します。2,000キロカロリーを7で割って先ほど説明した1日当たりに換算すると約300キロカロリーに相当します。年間の死亡率を縦軸にとって見ると運動が，普段運動をあまりしてない人たちにとってはなかなか有効であるということがわかります。これは対数グラフで取ってございまして，70歳代になれば死亡率は大変高くなりますが半分ぐらい，0.51と書いてありますが，約半分に死亡率が減る。これは，死亡の原因になるいろいろな生活習慣病が防がれるためである，ということが考えられます。つまり，私どもは栄養の摂取量に気をつけるだけではなくて，それを使う運動についても絶えず心がけて一定の運動量をしなくてはいけない。

運動は，糖尿病を防ぐだけではなくて動脈硬化を防ぐ効果がある。図3にはその具体的な指標として，善玉コレステロール，すなわちHDLコレステロールを示します。この値は競技をしない人は低くて運動選手，特にマラソン選手とか長距離の

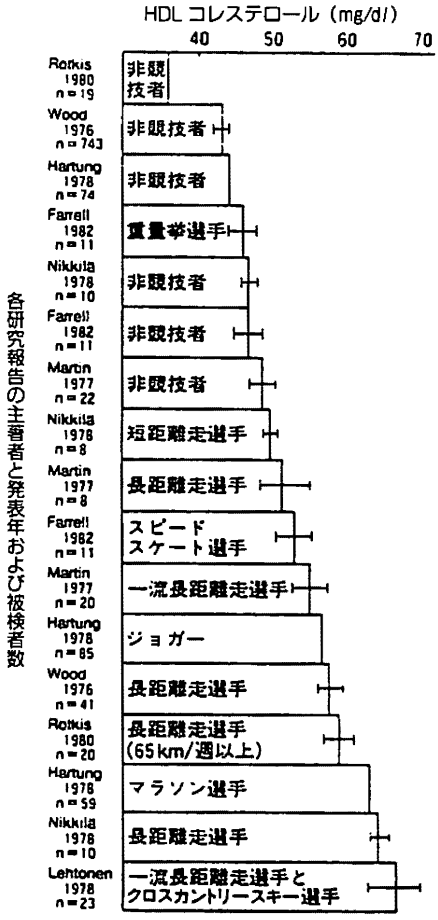


図 3．各種運動選手のHDLコレステロール値

選手に多いですね。これは，健康な人にも測定者によってかなり開きがあって，例えば，図3でマーチンという人が計った値を取りますと非競技者でも50mg/dlもあります。けれども，やはり運動選手で善玉コレステロールが多い。善玉コレステロールで動脈硬化を防いでいくという効果があります。ただ，運動選手は，後でお話しますように比較的短命なので，これだけで計れませんけれども，いま栄養学では，やはり，どうしたら善玉コレステロールが増やせるか，ということをいろいろ考えて指導をしているわけであります。

それからもう1つ，運動と寿命に対する誤解の1つでございますが，これは老研が出したデータでございますが，老研式の活動能力指標というものがありまして，点数で表わします。すると活動

性の高い老人ほど長生きをする。それから，もう，この点数が0点から1点の方は，1年で2割ぐらいの方が亡くなるということがわかっています。ただ，このようなデータは，それが原因であるのか結果であるのか議論が分かれるところです。体が弱ってきて，運動能力がなくなったから長生きできないのか。それとも，運動をして活動能力の高い人が，結果として長生きをするのか。これについては，きょうの講演の終わりごろに，老化・高齢化と運動について，もう少し丁寧にお話をしたいと思います。運動の能力が非常に衰えてくるというと，寿命もだんだん尽きてきたというふうに考えられるわけです。

最初に話題とした有酸素運動のお話に進みましょう。非常に短い時間に激しい運動をしたらどうなるかが図4に示してあります。横軸が酸素の消費量で縦軸が運動によるエネルギーの発生速度です。短距離の100メートル走行であるとか，100メートルの競泳で全力を出して泳ぐときには，酸素の呼吸がエネルギーを補給するのに間に合いません。間に合わないから借金をするわけです。酸素がなくても人間はしばらくの間活動ができるのは糖質（ブドウ糖やグリコーゲン）を乳酸まで分解していく解糖系と呼ばれる様式があるからです。だから，激しい運動がある限度を超えますと，乳酸という形で借金（図4の縦線の陰を付けた部分）をするわけです。運動が終わった後でも激しい呼吸をして，そして酸素を使って，そして借金となった乳酸を，また後で肝臓の中でグリコーゲンに戻していく。乳酸の一部はエネルギーとして分解します。それから，よくスポーツ選手が全力を出しきって，ゴールに入ると倒れてしまいます。あれはパフォーマンスで倒れているのではないのです。ある程度以上筋肉のなかに乳酸がたまりますと，筋肉が動かなくなるようになっているからです。それは，筋肉はその限度を超えて運動をさせますと，体液が乳酸で筋肉そのものが障害されて修復不能になります。それをふせぐために筋肉のたん白質が動かなくなるようにできているのです。ですから，乳酸の蓄積するような激しい運動は長続きしないのです。

それから，その次に激しい運動では乳酸の蓄積はそれほどでもないけれども，筋肉が蓄えている

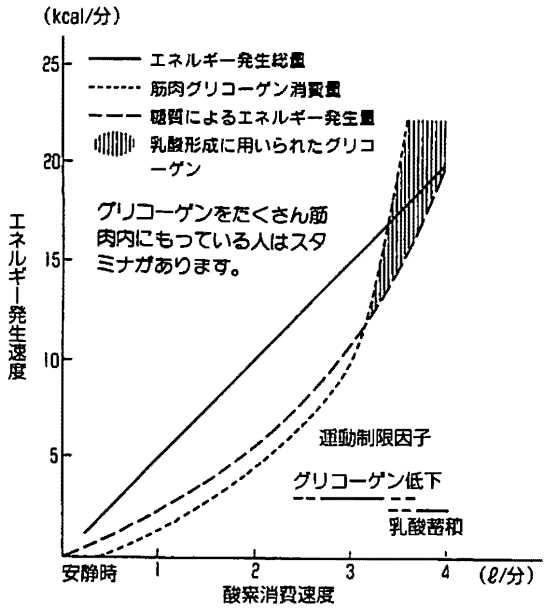


図 4．運動の強度に伴う糖質消費量の増加

グリコーゲンを解糖系で使い切ります。もちろん，グリコーゲンは乳酸になりますが，乳酸を酸素を使ってエネルギーに変える時間はある。大部分のスポーツはこの程度の強度ですから，スタミナは筋肉のなかにあるグリコーゲンで決まる。ですから，このごろのスポーツ医学ではカーボローディングということをやります。つまり，何日かずっと，たん白質や脂質の多い食品を食べておいて，それから後，数日間にわたってデンプンの多い食べ物を食べる。それと一緒にミカンやバナナなどのクエン酸を摂ります。クエン酸を摂るとグリコーゲンが蓄えられてきます。このカーボローディングで，運動の持続時間が倍位延長できます。グリコーゲンをたくさん筋肉内に持っている人がスタミナで有利な運動は図4に示した最大酸素消費速度の70%程度にあたる強度の運動をする場合です。

さて，健康によいと言われる最大酸素消費量を1分間に3リットルとしますと，その50%，1.5リットルぐらいのときはエネルギー源として，糖はあまり使わないで脂肪酸を使います。これが大変健康によいわけであります。図4の酸素1.5リットル以下の運動を有酸素運動というわけです。酸素の供給が十分間に合うような最大酸素消費量，消

費速度の約半分の点で運動をする。先ほどのジョギングであるとか，あるいは，早足歩行，サイクリングなどの運動です。そういう運動は長く続けることができるゆっくりした運動です。ですから，有酸素運動をいたしますと，肥満・動脈硬化・糖尿病の予防に役立つわけであります。

普段からあまり運動していない人は，やはり，心臓も小さいし肺機能も低い。生活活動強度がⅠというのは，事務的な仕事や，これに類した仕事に従事している人。幼児のいない専業主婦。幼児がいれば大変ですから。乳幼児の世話をしていると，生活活動強度Ⅱです。製造業，サービス業，お医者さんもこのぐらいですね。あと，生活活動強度Ⅲ，Ⅳ，の人は大変少ないのです。昔は重労働だった鉄工所の人も，いまは女学生と同じぐらい。コンピュータの前に座ってボタンを押すだけです。大体，最大酸素摂取量推定値は，高齢になれば当然減っていきます。

そこで，もう一度繰り返してお話をしますが，呼吸によって十分酸素を呼吸できるような，酸素を供給できるような，呼吸というか，供給できるような，ゆっくりした持続的な運動のことを有酸素運動といいます。それから，お相撲や100メートル競走は急激な運動で，脂肪は減らない。むしろ糖が減りますからお腹が空く。お相撲さんが，あんなに運動しているのに，体重がどんどん増えて太っていくのは，無酸素運動のためです。テレビで皆さんはご覧になっているように，短い時間に全力を出すのは無酸素運動です。したがってお相撲さんは寿命の短い方が多いのです。

それで「運動はいいんだけれども，ひとつ，自分で水泳や歩行をしてみると苦しい」とよく云われます。普段運動をしつけてない人が運動すると，すぐ疲れてしまう。これは体にとって苦痛です。健康にいいということはわかっているし，本日のように晴れた日は，「外へ行って少し運動でもしよう」と誰でも考えるけれども，素人はすぐ疲れてしまう。

これは，血液中の乳酸の濃度が4ミリモル／リットルを超えた時点で，乳酸による疲労感が出てくる。いくら素人といっても，いろいろです。歩行速度とか，あるいは，運動の持続時間を変えて調べると，素人は毎分180メートルでほぼ全員の乳酸濃度が4ミリモルをこえるのです。競技をやっているプロ，例えばマラソンの第1位の方などは毎分300メートルを越えないと乳酸は溜まらない。素人と違って運動をやりつけていますから，なかなか疲れないのです。これが生化学的に見た，どうして素人が疲れやすくて運動が普及をしないのか，ということの大変大きな原因です。この乳酸の増加に対して重曹を飲めば防げるのですが，あまり美味しくないので，体内で重曹と似た働きをする有機酸ナトリウムを入れてあるスポーツドリンクが多いのです。もちろん運動は，いきなりやるというのでなくて，少しずつ歩行の時間を増やして行けば長続きして，だんだん健康な運動ができるようになっていく秘訣です。

心臓の筋肉というのは一定のように見えますけれども，そうではありません。これは，作業の量でいつも入れ替わっているのです。ですから長い間横になって寝ている患者さんが急に起きたら貧血で倒れてしまいます。寝たきり老人はもちろんです。なぜならそういう人たちは心臓が大変小さいのです。心臓は働く必要があまりないわけだから，どんどんリストラをやって小さくなっていく。その人たちが，立って普通の運動をしようとしたら駄目なのです。あれは少しずつ，少しずつ身の回りのことからやって，だんだん歩行をさせていかなくてはいけない。

それから，運動している人は有酸素運動に必要な酸素を送る心臓が，非常に発達をしています（図5）。これが「スポーツマン心臓」といわれるものです。スポーツマンの心臓が大きい。血液がどんどん循環をする。ですから，先ほどの繰り返しになりますが，運動というものが健康にいいといっても，心臓が大きくなるのに時間がかかるのです。心臓が大きくなるだけでなくて，肺臓の機能が改善していくのにも時間がかかります。ですから，最初から高望みをしない。若い方々の8割の人は運動をしてないそうですけれども，その人たちに運動を普及させるためには，こういった配慮が必要なわけであります。

生まれつきマラソン選手のように長距離に強い選手と，百メートルの選手のように短距離の強い選手がいます。このマラソンランナーとスプリンターの違いは筋肉の違いです。マラソンランナー

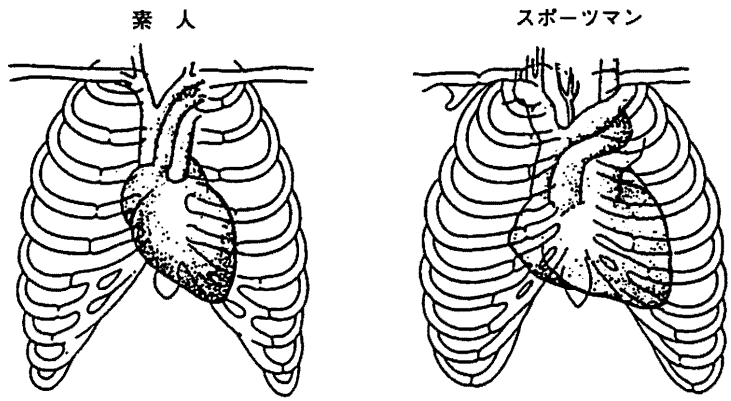


図 5．スポーツマンの心臓は大きい

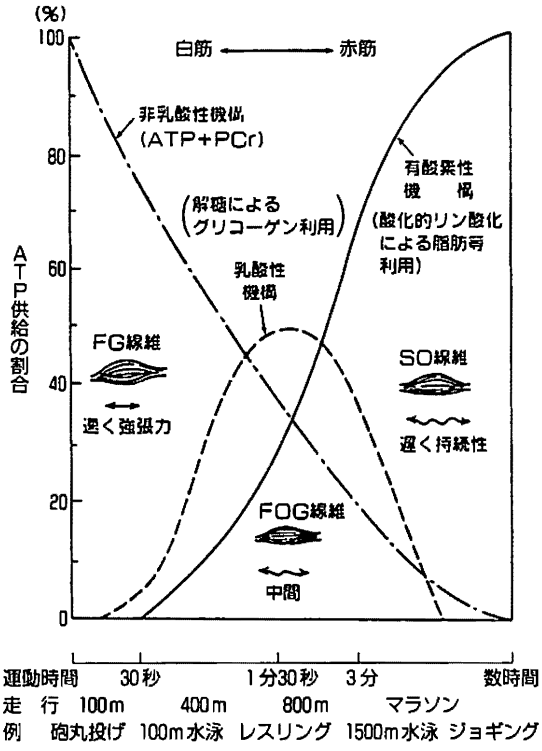


図 6．マラソンランナーとスプリンターの筋肉の違い

は赤い筋肉（赤筋）が多くて，スプリンターは白い筋肉（白筋）が多いのです。赤い筋肉にはミトコンドリアが多くて，酸素を利用して脂肪を使って有酸素運動を長時間続けることができます。それから白い筋肉は，短時間にエネルギーを出す解糖やクレアチンリン酸を使います。このときは酸素を使いませんから運動の時に乳酸がたまってきて，休んでいる間に回復するわけです。白い筋肉には図6のFG繊維という速く収縮する解糖系を使う筋繊維が多く，赤い筋肉にはSO繊維というゆっくりと長時間活動できる筋繊維が多いのです。その中間のFOG繊維も混じっています。

この筋肉の相違は大変難しいように見えますけれども，そうではありません。お魚を皆さんが召し上がるときに，白身のお魚がありますね。フグやタイなどの白身の魚は短時間に強い力を出すのです。タイなど肉食の魚というのは，普段は休んでいるのです。そして，獲物が来たときだけ猛烈なスピードで食いついて行きます。短距離で直ぐに疲れるスプリンターですから，食べられるほうの魚は逃げおおせたら，もうタイは追いついて来ません。それから，同じ白身の魚でも脇に赤い筋肉がついています。あれは，魚の姿勢を維持しているので休まないのです。魚にもマグロのように非常に遠距離を泳いでいくマラソンランナーがいます。マグロの赤い筋肉は，赤筋といいますが，持続的な有酸素運動で長時間疲れないようにできています。極端な赤筋は心臓や呼吸の筋肉です。赤い色は，ミトコンドリアと，それから，それに酸素を供給するミオグロビンという，ヘモグロビンと似た色素が多いためです。呼吸とか心臓というものは，あらゆる動物で赤い筋肉です。もし，呼吸の肋骨の筋肉とか心臓が疲れて「休みたい」と言い出したら，その体は死んでしまうのです。皆さんは朝鮮料理でカルビ焼には肋骨に真っ赤なお肉がついていることをご存じと思います。呼吸筋，（肋骨の間の筋肉），それから心臓の筋肉は，

疲れない赤筋です。そして酸素で脂肪を分解して活動しているマラソン用の筋肉なのです。

マラソンなどの有酸素運動をすると，全身の筋肉が，呼吸筋のようにだんだんと赤筋の性質が強くなる。そして脂肪を消費，酸素を消費する運動，酸化的リン酸化と申しますが，これで持続的な運動がし易くなる。筋肉を電子顕微鏡で見るとアクチンという線維の間にミオシンという線維がすべって走っていく。それで筋肉が収縮するのです。赤筋でも白筋でもこの基本構造はほとんど変わらないのです。ただ赤筋はミトコンドリアとミオグロビンが多くて有酸素運動に適しています。ミトコンドリアを電子顕微鏡で見ると襞がある構造をしていまして，これが多い筋肉ほど赤い色をしているわけです。いろいろな栄養素が入ってきて，最後に，TCAサイクルという酵素群で栄養素のなかの水素だけを取り出します。この水素部分はミトコンドリアのこの内膜というところに送られるのです。この水素を酸素で呼吸して得たエネルギーでATPを合成するのがATP合成酵素です。ATPは私たちのあらゆる活動のエネルギー源です。このATPをつくる方法には，先ほどの解糖系とATP合成酵素の二通りがあります。その中でもミトコンドリアにあるATP合成酵素は私たちのエネルギーの80～90%を占める，大変大事なエネルギーの供給法であります。

そこで，このATP合成酵素について一言だけ，お話しておきましょう。図7にF_0とF_1の部分が描いてありますがこの両者でATP合成酵素ができているのです。実は，去年（1997年）のノーベル賞は，このATP合成酵素のF_0部分とγ部分が回転をしながらαとβの境のCという所でATPを合成していくという驚くべき発見に与えられたのです。これには，日本の研究者も大変大きな貢献をしました。残念ながらノーベル賞はもらえませんでしたが。私たちが運動をすると呼吸が盛んになり，呼吸で送られた水素イオン（図7のH^+）が図の水車のようなrotorを流れてATP合成酵素の中心が回転しながらATPを合成していく。これは大変ロマンのある話です。

ここで過剰運動の害についてお話をしましょう。小町先生という公衆衛生の第一人者が発表した図8をお目に掛けます。同じ国鉄（今のJR）のなかで環境は似ているけれども，筋肉の運動量が非常に違う人々の健康を調べた図です。操車係というのは一番大変です。汽車から貨車に飛び乗って，足でブレーキを掛けながら運転して配分していくという大変激しい運動をしています。それから，昔はSLですから石炭をくべる燃料係も大変です。それから，荷物の上げ下ろしをする荷物係も重労働です。電車の運転手さんとか事務職員は軽動作です。寿命が大変短いのは重労働の人たちで，脳卒中の発生率が10倍も違う。これは先に図2でお話したことと非常に違いますね。つまり，軽い動作をしている人にとって運動はプラスになるけれども（図2），激しい運動というのは体に害がある（図8）。私の同級生80人のなかで，既に亡くなられた方は12人います。つまり，15%亡くなっているのです。その人たちのうち，12人のうち10人は学生時代からラグビーやバスケットなど激しいスポーツをした人です。医師ですからあまり不摂生はしないのです。だから激しい運動は決して健康にはよくないということがわかってきたのです。そこで，表1で述べた適正な運動量というものが求められるわけなのです。これをよく覚え

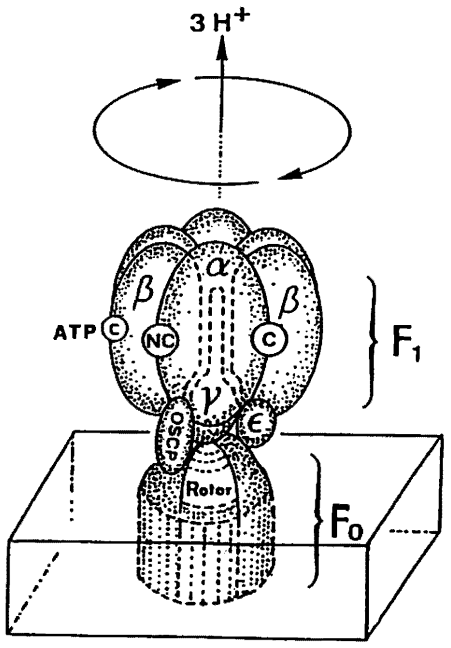


図 7．ATP 合成酵素

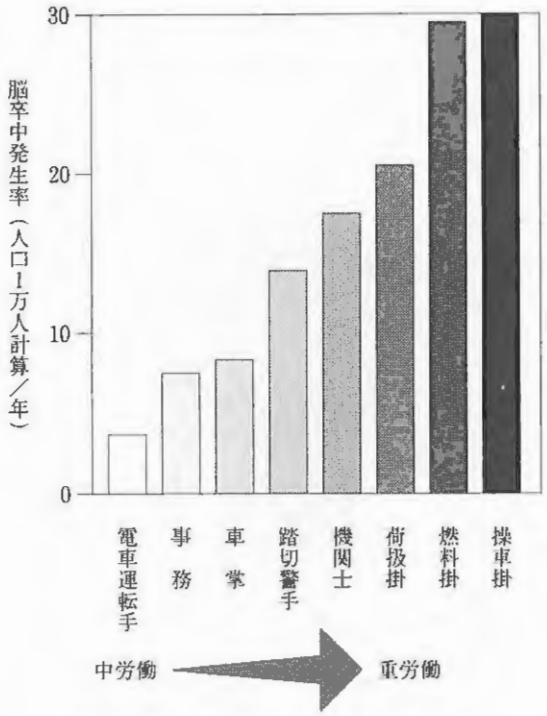


図 8．職種群と脳卒中発生率（40～54歳）

てください。有酸素運動が体にいいといっても活性酸素というものの害が，いまから15年ぐらい前に認識をされてきたのです。未熟児に保育器のなかで酸素をたくさん与えたために網膜症で失明しました。このごろでは，在宅で酸素療法をやってる方がいます。100％の酸素を吸わせると肺機能が落ちてしまいます。酸素の濃度は50％以下に制限しなくてはいけない。例えば，われわれの酸素は，空気中の酸素は20％ですが，これを50％に増やしただけで，ハエの寿命が短くなってしまうのです。それは，酸素が多すぎて活性酸素が出るからです。そして遺伝子を破壊していくのです。

活性酸素というのは，スーパーオキシドアニオン，一重項酸素，ヒドロキシルラジカル，過酸化水素など反応し易い酸素の総称です。その活性酸素を除いて害を防ぐのが栄養学的によく言われている，ビタミンEとかカロチンです。これは，一重項酸素を特に消しているのです。それから，SOD（スーパーオキシドディスムターゼ）という酵素がスーパーオキシドを分解します。あまり詳しいことは皆さん記憶される必要はありません。それから，こちらのヒドロキシルラジカル。これも大変強い破壊力を持っておりますが，これがマンニトールで防がれます。それから過酸化水素は，これはカタラーゼという酵素で分解されます。

活性酸素はミトコンドリアで呼吸をするときに副産物としてできるのです。しかし，わざわざ体のなかでつくることがあります。これは殺菌をするために白血球が自分自身で，スーパーオキシドをつくり，これによってばい菌を殺しているのです。これがつくれないような病気の方は，重い感染症になります。こういうふうに活性酸素は，役に立つ面もあるのです。

それで，この図9は運動と老化の話を詳しくまとめた図です。運動について，いい面と悪い面がある。良い面は図9の左上のように，運動に必要なATPをつくって，脂肪酸を消費して過剰栄養を防いでいくのです。それから悪い面は図9右上の活性酸素を出して，そして遺伝子を壊すことです。そのときに，この8-OHdGと書いてある8ヒドロキシヒドロキシグアノシンができます。活性酸素で遺伝子が侵される場合はこの尿中の8ヒドロキシルヒドロキシルグアノシンを調べるといいと思います。活性酸素はいろいろな，たん白質も侵しますし（図9右中），それから，血液中の脂質を，悪玉コレステロール（LDL）をもっと悪い酸化LDLに変えて動脈硬化を促進します（図9左中）。このように運動の効果には善悪の二面性があるのです。だから適切な運動が必要だということになります。

それから，図9上右にはSODと書いてありますが，活性酸素のスーパーオキシドを壊すスーパーオキシドディスムターゼです。特にミトコンドリアでは活性酸素ができるものですから，ミトコンドリアには特別にマンガンスーパーオキシドディスムターゼというのがあって，これは運動すると増えてくる。しかし，その増え方が5割とか4割ぐらいしか増えないので，やはり，あまり過剰な運動では，どうしても，私たちの体は痛めつけられるということになるわけであります。活性酸素が作用した結果，脂質がいろいろ過酸化を起こしていきます。休んでいるときはミトコンドリアの活動も落ちるわけですから，活性酸素による過酸化脂質の生成も少ないということになります。

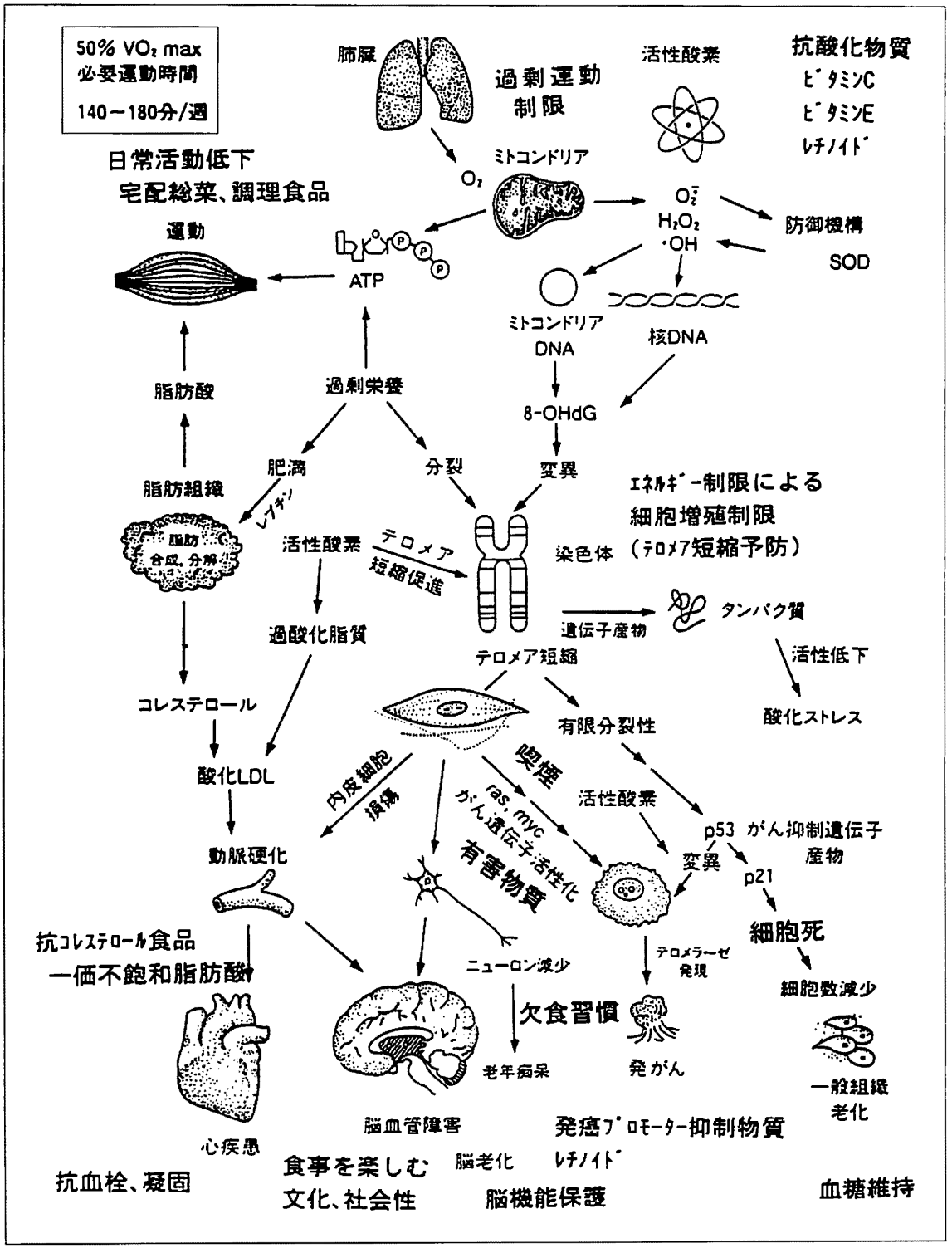

50% VO₂ max
必要運動時間
140～180分/週
日常活動低下
宅配総菜、調理食品
肺臓
過剰運動
制限
活性酸素
抗酸化物質
ビタミンC
ビタミンE
レチノイド
ミトコンドリア
O₂
運動
ATP
O₂⁻
H₂O₂
·OH
防御機構
SOD
ミトコンドリア
DNA
核DNA
脂肪酸
過剰栄養
8-OHdG
肥満
分裂
変異
脂肪組織
レプチン
エネルギー制限による
細胞増殖制限
（テロメア短縮予防）
脂肪
合成、分解
活性酸素
テロメア
短縮促進
染色体
遺伝子産物
タンパク質
過酸化脂質
テロメア短縮
活性低下
コレステロール
有限分裂性
酸化ストレス
酸化LDL
内皮細胞
損傷
喫煙
ras, myc
がん遺伝子活性化
活性酸素
p53 がん抑制遺伝子
産物
動脈硬化
有害物質
変異
p21
抗コレステロール食品
一価不飽和脂肪酸
ニューロン減少
テロメラーゼ
発現
細胞死
細胞数減少
欠食習慣
心疾患
脳血管障害
老年痴呆
発がん
一般組織
老化
抗血栓、凝固
食事を楽しむ
文化、社会性
脳老化
脳機能保護
発癌プロモーター抑制物質
レチノイド
血糖維持

図 9．運動と老化

それでは，ビタミンEをどのくらい摂ったらいいか。ご存じのように，胚芽米には大変ビタミンEが多いということでありますが，過大な期待はできないと思うのです。ビタミンEの1日の目標摂取量は8ミリとか6ミリグラムです。虚血性の疾患の発生する率を1としますと，その10数倍ビタミンEを摂っても40%ぐらいしか発生率を減らせない。これは，非常に大勢の人を対象にした研究です。確かにビタミンEは効くし，普通よりは多く摂ったほうがいいけれども，大体この程度の効果だというふうにお考えください。胚芽米に限らず，全粒粉のパンとかそういうものには，ビタミンEが多いわけであります。ビタミンEと同時に，ビタミンCとビタミンAは，十分に摂ることはもちろん必要です。大事なことは，ビタミンAやE等の脂溶性のビタミンというのは，体のなかに長く溜まるのです。それから，ビタミンCなどは水溶性のビタミンですから，あまり長いこと体内に残らないのです。ですから，毎日，新鮮な野菜とか果物は欠かさないように摂っていくということは1つ大事なことです。

次に糖尿病がいま増えているが運動で予防できるという話をします。糖尿病のときに，なぜ運動すると，よく治っていくのでしょうか。万歩計というのがあって，1日に普通の人でも数千歩歩いていて，ちょっと心がけると1万歩になるのです。けれども，3万歩とか4万歩歩いていますと，ブドウ糖の代謝率が増えていく。これはブドウ糖の輸送体というものが筋肉に増えていくのです。ブドウ糖の輸送体がその筋肉に増えてブドウ糖が利用できるのです。こうしてインスリンの効き目を増してすい臓の機能を助けるわけです。比較的若年の，先ほどのスライドにあったように40代からの糖尿病の予備軍の増加というものは運動によって予防できるでしょう。

老化のことを最後に少しお話をして終わりたいと思います。高齢者の身の回りの介護がいま非常に大きい問題です。ただ，介護に必要な日常活動というものは，ほとんど身の回りの運動さえできれば良いのです。握力などは相当年を取っても，80歳になっても，あまり衰えないのです。しかし，垂直跳びとか，先ほど言った最大酸素摂取量は老化で大きく活性が落ちてしまうのです。老人になって一番落ちるのは，目をつぶって片足で立つ時間です。年を取って最大酸素消費量が減るのはなぜかを調べるために私は東京都の老人研にまいりまして，いろいろな年齢の方の細胞をいただいて調べました。図10のように年を取るとミトコンドリアのシトクロムC酸化酵素が減って行くのです。呼吸で取り入れられた酸素をミトコンドリアで使っている酵素がシトクロムC酸化酵素です。これが，年齢とともにずっと減っていくということがわかりました。この研究は他の方も既にやっておられて定説になっています。

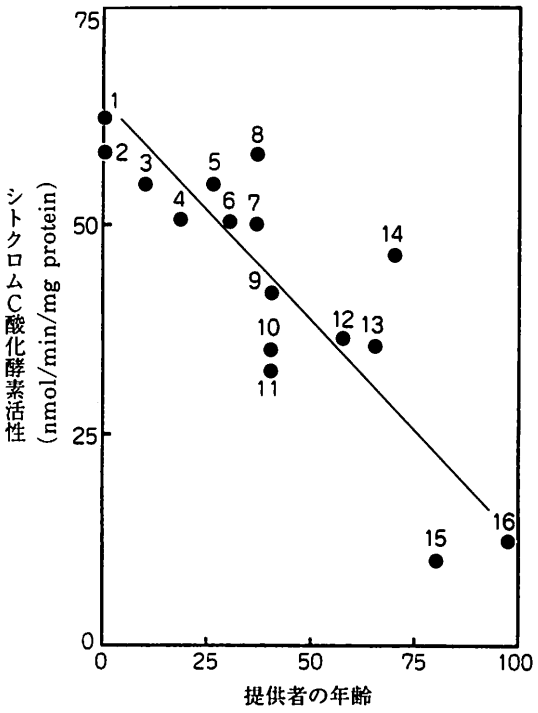


図10. ヒト線維芽細胞の老化による呼吸活性の減少

これから高齢化社会です。介護を要する人たちの数は，厚生白書では2025年には520万になると言われています。国民がいまみんなが不安に思っていることですが，年を取ったときに男性・女性はどういう働き方をするのか家事の平均時間を見てみますと女性は普段こまめに家事をやっているのですが，年を取ると当然減ってきます。男性は定年になって家庭内に入ってくるということもありますが，家事時間は高齢になると少しずつ増えています。家事の雑事などは男性のほうが逆にちょっ

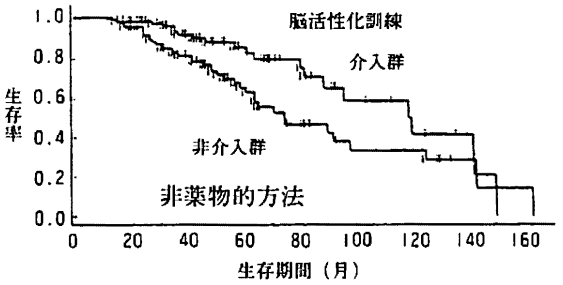
と増えてくるのです。それから，お買い物も男性は若いときに比べて増えていく。女性の買い物時間はむしろ減る。こうして身の周りの仕事ができれば介護のお世話にならなくて済むわけです。そのための運動は柔軟性の低下に対してはストレッチ運動がいろいろ処方されているのです。筋肉の衰えに対しては筋肉トレーニングがあります。お食事を，高齢者のを助けてあげるとわかると思いますが，よくこぼすのです。そういう動作の訓練も役立ちます。

それからもう1つは，その520万の要介護高齢者中の160万ぐらいは，いわゆる痴呆老人というかボケ老人です。現在は本当に増えてきて，この予測どおりになっているのです。高食塩摂取から高血圧になって，脳出血や脳梗塞になります。こうして起こる脳血管性の痴呆が日本の場合は多いのですね。この他，老年痴呆というか，アルツハイマーもずいぶん多いようです。これを防ぐ方法が必要です。そのため脳の活性化訓練というものをやります。身の周りの手芸とか，カラオケやゲートボールとか玉入れゲームなどの集団の行動行事も加えて脳を刺激してあげます。これを脳活性化訓練といいます。これは，手足を動かすことによって脳の血流が増えるのです。

脳の活性化訓練をした人たちと，しないで放置した人たちの生存期間を図11で見てみましょう。これは，もちろん統計的には有意であります。血管性痴呆の場合に特に有効です。これは今年のデータです。いま，こういう介護の研究は大変盛んになってまいりました。やはり，身の周りの小さな運動をこまめにさせてあげる。ちょっと不便になると，みんなもう，「めんどうくさい。寝たきりにしてしまおう」，という考えは非常によくないのです。指導をして，そして活性化をしていく。これは，お薬を使ったわけではありません。

それは，脳のなかの血流が増えるのです。運動をしたときに，会話とか，動くものを目で追うとか，いろんな筋肉が動きます。動いたときに，脳で運動を司る部分で増えた血流が患者さんに苦痛を与えずに測定できるようになってきました。これで，脳のいろいろな場所に血流が増えるということがわかったのであります。

脳は，先ほど言いましたミトコンドリアから，



p値 Logrank test 0.0118**　*p<0.05　**p<0.01

図11. 脳血管性痴呆における介入群と非介入群の生存曲線
（日医雑誌 第119巻・第7号/平成10年（1998））

非常にたくさんのエネルギーをもらいます。酸素が欠乏して，一番先に侵されるのは脳です。脳はミトコンドリアの，いわゆる酸化的リン酸化という機能に依存していてATPが，神経のいろいろな活動に使われています。このために，脳の循環というものがあって，酸素と栄養素を脳に余計供給するということが，脳の老化を遅らせるというふうに考えられているわけであります。

これは複雑ですが，先ほどのスライドの図9です。そして，結局私たちの寿命というのは，1つは脳血管障害で決まります。心筋梗塞，脳梗塞といったようなもので決まりますが，その背景には動脈硬化があります。そして癌できまります。活性酸素その他で遺伝子が変化して，p53などの癌抑制遺伝子などが壊れて癌になるのであります。

図9の説明を繰り返しますと運動は肥満を防ぐ，過剰栄養を防ぐことによって大変いい面がありますが，あまり強度なものですと活性酸素が遺伝子を侵し，あるいは，善玉コレステロールを酸化LDLというものに変えて，動脈効果を促進していくという悪い面があるし，癌も促進をします。癌で亡くなった野球の投手なども皆さん聞いておられると思いますが，やはり，活性酸素による遺伝子の損傷というものが考えられるわけであります。

最後にもう一度，最初の表1をご覧下さい。もう1度繰り返しますと，私どもには運動は大変大事であり，適度な運動をすれば，いろいろな生活習慣病を防ぐことができる。しかしながら，運動は過剰にやるほどいいというものではありません。それは私たちの体に必要な，食塩にしてもその他の栄養素にしても，過剰に摂れば，害があるのは

当たり前のことです。酸素も多すぎては体に害がある。運動も同じです。

ですから，大体，平均的な方々にとって，表1の数値に基づいて運動をすると良いでしょう。色々な指標がもっと正確に決められるようになりますと，もっと，一人一人に応じた適切な運動量というものが，指導できるようになっていくと思います。

大変長い間いろいろな話題について，雑駁な話でございましたが，ご清聴ありがとうございました。

○座長（五明）　どうも先生，ありがとうございました。大変わかりやすく，おもしろく聞かせていただきました。

せっかくの機会ですので，会場のほうからご質問がございましたら……。はい，どうぞ。

○質問者　香川　綾先生の記事のなかで綾先生の遺伝子は普通の人の遺伝子と大体同じであるというようなことが書いてございました。ところが，98歳まで生きられました。その秘訣は何かというようなことでお願いしたいです。

活性酸素が遺伝子を壊すという先生のお話もございました。遺伝子にいい食べ物，いい影響を及ぼす食物を教えて下さい。

○香川　これは栄養学全般について言えることでありますが，まず，1つのある食物が体にいいということは，なかなか言えません。それは，牛乳やタマゴ，いわゆる一群と言われるものは，ほとんど全部の栄養素が揃っておりますから，それを食事にお加えになることはいいと思いますが，やはり，全体としてバランスの取れた食事。例えば，4群点数法とか，そういった食事をされるということが，食事についてはいいと思います。

先ほど申しました活性酸素だけについて言えば，緑黄野菜に含まれておりますいろいろなビタミンA，あるいは胚芽のビタミンE，それから，野菜のビタミンC，そういうものは絶えず摂っておられるといいと思います。

母についてのご質問があったのですが，あとで，今年に入りましてから1つだけ，いわゆる「きんさん・ぎんさん」をはじめとする，全国の長寿者の遺伝子をいただきまして調べましたところ，100歳老人に非常に多いミトコンドリアの遺伝子というのがあります。普通の人と違う。母はその型の遺伝子をもっており，運動をしても活性酸素の出方が少なかったのではないかという点はあります。ただ，母の場合はずっと，血液の分析を検診のときにしておりまして，そしてあの年齢にいたって，コレステロールはじめ異常値が出たものが1つもなかったのです。その点が大変大事だと思います。

それから母の運動のことは，70歳になってからも朝早くからマラソンをしたというような話がいろいろ載っておりますが，晩年は80～90歳になってから，だんだん運動量を落としていきまして，ここから飛鳥山まで，最初は軽く走っていたものを，だんだん速足ぐらいにし，それからもっと年がいきますと，ゆっくり歩くというように。運動は欠かさなかったのでありますが，それは高齢，超高齢になった場合には，それに応じて運動量は下げていった。無理にマラソンを続けたとすれば，恐らく遺伝子は相当破壊されて早く亡くなったと思われますが，やはり年齢に応じた運動というものが必要だと思います。

○質問者　先般，この教室で先生から，遺伝子の量を計れば，あとどのぐらい生きるかがわかるかと。

○香川　ああ，テロメラーゼのことですね。遺伝子というか，遺伝子の末端の部分ですね。

○質問者　そこを増やすのは，どうしたらいいんでしょうか。

○香川　例えば，癌の細胞はなぜ死なないのかというのは，テロメラーゼという酵素が出てきて，テロメアを増やすのです。ですから癌の細胞は死なないのです。普通の人に無理にテロメラーゼという酵素を発現させれば，老化はしないだろうと思われるかもしれませんが，そうすると，体のなかのあちこちでできてくる癌細胞が制御できなくなってしまいます。

本当に根本的に長生きということであれば，それはまだやってはいけないことですけれども，クローン人間というのがあります。人間の体の細胞1つ取って，脱核した未受精卵に入れてや

ると，元の人と同じ遺伝子を持った人間ができます。クローン動物の方法というのが，現在の科学技術では唯一の解決法と言われております。

○質問者　どうも，ありがとうございました。

○座長（五明）　いろいろご質問もあるかと思いますが，個別にまたご質問のある方は，何かお書きになられてお渡しいただければということで。時間が少し過ぎましたので，ここで，第一席の「生化学から見たスポーツと栄養」を終わらさせていただきます。

先生，どうもありがとうございました。（拍手）

文　献

1) 香川靖雄編：「エネルギー代謝」最新医学，53巻1号，5-80頁，1999年
2) 香川靖雄：老化のバイオサイエンス（第2刷），羊土社，東京，1998年
3) Isobe K. et al.: Nuclear-recessive mutations of factors involved in mitochondrial translation are responsible for age-related respiration deficiency of human skin fibroblasts.（高齢者のミトコンドリア活性）J. Biol. Chem. 273：4601-4606（1998）
4) 日本医学会編：生活習慣病と慢性疾患，日本医学会，14-20頁，1998年